

**Заключение.** Из ключевых принципов при построении стеганографических систем можно выделить визуальную неразличимость заполненного и незаполненного контейнеров, а также аутентичность и целостность секретной информации. Изменение количества заменяемых бит позволяет варьировать пропускную способность стеганографической системы и существует необходимость исследования возможности использования старших бит для встраивания информации. Подробно описан метод стеганографического сокрытия данных, проанализированы некоторые его свойства (например, максимальная емкость контейнера). В качестве достоинств данного метода можно выделить, что размер файла-контейнера становится неизменным, при замене одного бита в канале сигнала внедрение невозможно заметить визуально.

#### Список литературы

- 1 **Bennett, K.** Linguistic steganography: Survey, analysis, and robustness concerns for hiding information in text / K. Bennett. – Purdue Univ., CERIAS Tech. Rep. – 2004.
- 2 **Конахович, Г. Ф.** Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко. – Киев : МК-Пресс, 2006. – 288 с.
- 3 **Urbanovich, N.** The use of steganographic techniques for protection of intellectual property rights / N. Urbanovich, V. Plaskovitsky // New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation. – 2011. – P. 147–148.
- 4 **Albdour, N.** Selection Image Points Method for Steganography Protection of Information / N. Albdour // WSEAS Transactions on signal processing. – 2018. – Vol. 14. – P. 151–159.

УДК 656.25 (078.5)

## БЕЗОПАСНОСТЬ АППАРАТУРЫ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

На современном этапе развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) происходит не просто широкое внедрение микропроцессорных и микроэлектронных систем, но переход к новым концепциям разработки и эксплуатации систем управления движением поездов – цифровизации и интеллектуализации. Это объясняется необходимостью на новом уровне решить две основные задачи функционирования железнодорожного транспорта: обеспечение требуемой провозной способности и высокого уровня безопасности движения поездов. Наиболее эффективным путем решения этих задач является создание комплексной системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. В современных условиях повышение безопасности движения требует не только развития традиционных систем ЖАТ, но и привлечения дополнительных ресурсов на базе информационных технологий и цифровых систем. Таким образом, на базе систем СЦБ организуется система обеспечения безопасности движения, а на базе АСУ – система управления процессами перевозок. Взаимодействуя между собой, эти системы образуют комплексную систему управления, кроме того, независимо они выходят на региональный уровень управления. Следовательно, система управления процессами перевозок в настоящее время является единым комплексом, основанным на единой вычислительной среде и единой цифровой сети. В ней образуют три контура безопасности. Первый – централизованный, он заключается в централизации управления маршрутами и координатного управления в диспетчерском центре управления. Второй – децентрализованный, его образуют системы СЦБ и технической диагностики. Третий – бортовой, в составе которого имеются системы АЛС и автоведения.

Вместе с тем возрастает чувствительность элементной базы вычислительных комплексов к электромагнитным помехам и воздействиям. Это объясняется увеличением степени интеграции полупроводниковых изделий, снижением энергии рабочих сигналов этих изделий, увеличением плотности монтажа, усложнением схемотехнических решений.

Число возможных видов электромагнитных воздействий также увеличилось. В том числе появилась техническая возможность создания сверхширокополосных импульсов электромагнитного поля для преднамеренного воздействия этими импульсами на микроэлектронные технические средства (ТС) с целью создания большого потока сбоев в этих средствах или вывода их из строя. Объектами воздействия электромагнитными импульсами преднамеренного воздействия (ЭИПВ) может оказаться и аппаратура современных систем управления процессами перевозок железнодорожных

магистралей, особенно на крупных железнодорожных узлах и линиях скоростного движения, что повлечет за собой недопустимое снижение уровня безопасности движения.

Следует учитывать, что оборудование всех трех уровней системы управления перевозками и обеспечения безопасности оказывается подверженной действию электромагнитных помех. При этом аппаратура систем СЦБ имеет в своем составе большое количество напольных устройств. Эти устройства размещены на территории путевого парка станции (в случае электрической централизации), либо на перегонах (в случае автоблокировки, диспетчерской централизации, диспетчерского контроля). Поэтому практически невозможно добиться достаточного удаления мест, где возможно скрытое расположение генератора ЭИПВ, от мест эксплуатации аппаратуры СЖАТ. Также на оборудование системы управления перевозками воздействуют электромагнитные помехи, созданные молниями, аварийными режимами контактной сети и близлежащих линий электропередачи, радиотехническими и промышленными установками. На аппаратуру микроэлектронных СЖАТ и компьютеры АСУ воздействуют внутриаппаратурные помехи, помехи по цепям питания, электростатические разряды, наносекундные импульсы при коммутации реле. Таким образом, помеховая обстановка имеет тенденцию ко все большему усложнению для всех ступеней организации системы управления движением поездов. На каждой ступени возрастает число уязвимых ТС и каналов проникновения помех.

С точки зрения функциональной безопасности и надежности микроэлектронного оборудования систем управления перевозками воздействие электромагнитных помех на такое оборудование сопоставимо с воздействием отказов и сбоев элементной базы, вызванных технологическими и иными причинами. Следовательно, можно считать, что под воздействием электромагнитных помех значительно увеличивается интенсивность отказов и сбоев элементной базы.

В докладе вначале рассматривается влияние увеличения интенсивности отказов на нерезервированную систему, которая может быть моделью компьютеров диспетчерского центра управления. Коэффициент готовности такой системы выражается формулой

$$K = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент готовности;  $\mu$  – коэффициент восстановления,  $1/\text{ч}$ ;  $\lambda$  – интенсивность отказов,  $1/\text{ч}$ ;

Анализ формулы (1) показывает, что с ростом интенсивности отказов и при неизменном коэффициенте восстановления коэффициент готовности системы снижается. Чем выше интенсивность отказов, тем ниже коэффициент готовности.

Далее рассматривается влияние интенсивности отказов на систему управления с непрерывным контролем. Такая система отражает существенные свойства микроэлектронных систем СЦБ, которые в настоящее время выполняются многоканальными и снабжаются узлами автоконтроля, сравнения работы каналов, аварийного отключения и тому подобными средствами. Эти средства также изготавливаются из микроэлектронных изделий. Поэтому даже специальная схемотехника, а именно временная и пространственная парафазность сигналов, внутренний и внешний автоконтроль, не исключают возможности отказа или сбоя под воздействием электромагнитных помех. Коэффициент готовности системы с контролем выражается формулой

$$K = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}}, \quad (2)$$

где  $\lambda_1$  – интенсивность отказов основного вычислительного канала,  $1/\text{ч}$ ;  $\mu_1$  – коэффициент восстановления основного вычислительного канала,  $1/\text{ч}$ ;  $\lambda_2$  – интенсивность отказов схемы контроля,  $1/\text{ч}$ ;  $\mu_2$  – коэффициент восстановления схемы контроля,  $1/\text{ч}$ .

Из формулы (2) также следует, что при росте интенсивности отказов и постоянстве коэффициентов восстановления коэффициент готовности системы снижается.

Таким образом, по результатам оценки воздействия электромагнитных помех на интенсивность отказов и показатель эксплуатации моделей микроэлектронных систем управления можно сделать вывод, что воздействие электромагнитных помех существенно снижает коэффициент готовности системы. Для систем, обеспечивающих безопасность движения поездов, такое снижение приводит к тому, что система перестает выполнять свои функции в достаточной степени. Особенно опасным становится такое снижение в условиях повышения интенсивности и скоростей движения поездов.

Поэтому для исключения роста интенсивности отказов под воздействием электромагнитных помех требуется снижение уровня помех в корпусах и узлах микроэлектронных ТС систем управ-

ления движением поездов. Для достижения этого необходимы методы предиктивного проектирования аппаратуры систем управления движением поездов, направленные на обеспечение требуемого уровня помехоустойчивости этой аппаратуры уже на этапе проектирования. Поскольку возникающие при этом электродинамические задачи отличаются высокой сложностью и решаются с упрощающими предположениями, то необходимым этапом внедрения новых систем СЦБ и АСУ является их сертификация и доказательство безопасности с проведением натурных испытаний на воздействие электромагнитных помех. Так как имеется большое число помех, а испытательное оборудование является, в достаточном числе случаев, уникальным, то требуется комплексирование испытаний к разным видам помех. Также испытательные процедуры должны быть адаптированы к особенностям железнодорожных систем, а именно к высоким требованиям по полноте безопасности SIL 4.

Накопленный опыт работ в области электромагнитной совместимости систем управления движением поездов позволяет заключить, что все указанные задачи могут быть решены на должном уровне, достаточном для обеспечения безопасности движения.

УДК 656.259.12

## УЧЕТ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССОВ В РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

В докладе исследуется влияние ферромагнитных свойств рельсовой стали на процессы передачи синусоидального сигнала в рельсовой цепи. Для этого записывается система уравнений для цепи с распределенными параметрами и нелинейной погонной индуктивностью. При записи предполагается, что погонное сопротивление рельсовой цепи постоянное, погонная проводимость утечки также постоянная, погонная емкость рельсовой линии не учитывается. Вебер-амперная характеристика стали аппроксимируется полиномом третьей степени.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} - Ri, \quad \frac{\partial i}{\partial x} = -Gu, \quad u = Ri, \quad i = Gu, \quad \Phi(i) = ai + bi^3, \quad (1)$$

где  $u$  – напряжение в цепи, В;  $i$  – ток в цепи, А;  $\Phi$  – магнитный поток в цепи, Вб;  $x$  – координата, км;  $t$  – время, с;  $R$  – погонное сопротивление, Ом/км;  $G$  – проводимость утечки, См/км;  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации вебер-амперной характеристики стали.

Система (1) преобразуется к нелинейному уравнению в частных производных для тока в рельсовой цепи

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} - RGi = \left( Ga + 3bGi^2 \right) \frac{\partial i}{\partial t}. \quad (2)$$

В уравнении (2) осуществляется замена переменных  $\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow v \frac{d}{d\eta}$ ,  $\frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \frac{d}{d\eta}$ . При этом  $v$  – скорость распространения сигнала в рельсовой цепи. Она определяется по известным формулам теории цепей с распределенными параметрами, в предположении, что индуктивность рельсовой цепи постоянная и не зависит от тока в цепи.

После замены уравнение (2) приводится к виду, удобному для применения метода Ван-дер-Поля

$$\frac{1}{G} \frac{\partial^2 i}{\partial \eta^2} - Ri = \left( a + 3bi^3 \right) v \frac{\partial i}{\partial \eta}. \quad (3)$$

Для решения по методу Ван-дер-Поля вводится новое время  $\tau = \sqrt{RG}\eta$ .

Тогда уравнение (3) преобразуется к виду

$$\frac{d^2 i}{d\tau^2} - i = \left( a + 3bi^3 \right) v \sqrt{\frac{G}{R}} \frac{di}{d\tau}. \quad (4)$$